

**PAT-NO:** JP02001062255A  
**DOCUMENT-IDENTIFIER:** JP 2001062255 A  
**TITLE:** REVERSE-OSMOSIS MEMBRANE PLANT AND ITS PRODUCTION, OPERATING METHOD AND MEMORY MEDIUM FOR THIS PURPOSE  
**PUBN-DATE:** March 13, 2001

**INVENTOR-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
TANIGUCHI, MASAHIRO	N/A
NAKANISHI, TAKAYUKI	N/A
KIHARA, MASAHIRO	N/A

**ASSIGNEE-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
TORAY IND INC	N/A

**APPL-NO:** JP11241592  
**APPL-DATE:** August 27, 1999

**INT-CL (IPC):** B01D061/02 , B01D061/12 , B01D061/58

**ABSTRACT:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To most adequately execute the production and operation of a plant by predicting the membrane transfer parameter indicting the membrane performance of a reverse osmosis membrane from the actually measured value of the operation parameter of a reverse osmosis membrane plant in accordance with the concentration polarization equation derived from a concentration polarization model and determining operating conditions in accordance with the predicted value.

**SOLUTION:** In the reverse osmosis membrane (RO) plant, the solvent in a permeated material is permeated through the RO membrane by a pressure difference and the solute is permeated through the RO membrane by a concentration difference. In such a case, a mass transfer coefficient  $k$  is determined according to a mass transfer correlation equation ( $Sh=a.Reb.Sc$ ) indicating the relation between a Sherwood number  $Sh$ , Reynolds number  $Re$  and Schmidt number  $Sc$ . The mass transfer coefficient  $k$  is substituted in the concentration polarization equation derived from the concentration polarization model in accordance with the material balance of the solute permeation, by which a membrane surface concentration  $C_m$  is determined. Next, the

membrane transfer parameter expressing the membrane performance of the reverse osmosis membrane is predicted from the actually measured value of the operation parameter of the reverse osmosis membrane plant and the operation conditions of the plant are determined from the predicted value.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-62255  
(P2001-62255A)

(43) 公開日 平成13年3月13日 (2001.3.13)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト <sup>*</sup> (参考)
B 0 1 D	61/02	B 0 1 D	4 D 0 0 6
	61/12		
	61/58		

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平11-241582

(22) 出願日 平成11年8月27日 (1999.8.27)

(71) 出願人 000003158

東レ株式会社

東京都中央区日本橋富町2丁目2番1号

(72) 発明者 谷口 雅英

滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株式会社滋賀事業場内

(72) 発明者 中西 貴之

滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株式会社滋賀事業場内

(74) 代理人 100090022

弁理士 長門 侃二

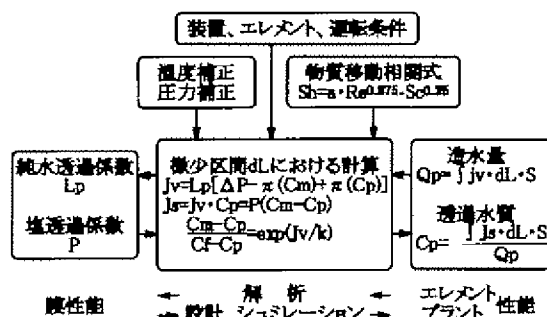
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 逆浸透膜プラントおよびその製造、運転方法ならびにそのための記憶媒体

(57) 【要約】

【課題】 濃度分極現象を考慮して逆浸透膜の輸送パラメータや逆浸透膜プラントの運転状態を正確に予測する。

【解決手段】 溶質透過の物質収支を表す濃度分極モデルから導出される膜面における濃度分極式 ( $(C_m - C_p) / (C_f - C_p) = \exp(J_v / k)$ ) に基づいて、逆浸透膜プラントの運転状態を表す運転パラメータの実測値 ( $Q_p$ 、 $C_p$ ) から逆浸透膜の膜性能を表す膜輸送パラメータ ( $L_p$ 、 $P$ ) を予測し、或いは既知の膜輸送パラメータ ( $L_p$ 、 $P$ ) から逆浸透膜プラントの運転状態 ( $Q_p$ 、 $C_p$ ) を予測する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 溶質透過の物質収支を表す濃度分極モデルから導出される濃度分極式に基づいて、逆浸透膜プラントの運転状態を表す運転パラメータの実測値から逆浸透膜の膜性能を表す膜輸送パラメータを予測するか、または、逆浸透膜の膜性能を表す既知の膜輸送パラメータから逆浸透膜プラントの運転パラメータを予測し、この予測値に基づいて逆浸透膜プラントの運転条件を定めることを特徴とする逆浸透膜プラントの製造方法。

【請求項2】 溶質透過の物質収支を表す濃度分極モデルから導出される濃度分極式に基づいて、逆浸透膜プラントの運転状態を表す運転パラメータの実測値から逆浸透膜の膜性能を表す膜輸送パラメータを予測するか、または、逆浸透膜の膜性能を表す既知の膜輸送パラメータから逆浸透膜プラントの運転パラメータを予測し、この予測値に基づいて逆浸透膜プラントの運転条件を定めることを特徴とする逆浸透膜プラントの運転方法。

【請求項3】 前記運転条件として、原水の供給圧力、原水流量、濃縮水流量、透過水の回収率、透過水流量および透過水中の溶質濃度からなる群から選ばれる少なくともひとつを定めることを特徴とする、請求項1または2に記載の逆浸透膜プラントの製造方法または運転方法。

【請求項4】 前記運転パラメータが、透過水流量および/または透過水中の溶質濃度であることを特徴とする、請求項1または2に記載の逆浸透膜プラントの製造方法または運転方法。

【請求項5】 前記膜輸送パラメータが、溶媒透過係数および/または溶質透過係数であることを特徴とする、請求項1または2に記載の逆浸透膜プラントの製造方法または運転方法。

【請求項6】 請求項1、3、4及び5のいずれかに記載の製造方法により製造された逆浸透膜プラント。

【請求項7】 請求項1ないし6のいずれかに記載の逆浸透膜プラントまたはその製造方法あるいは運転方法に係る手順をコンピュータに実施させるためのソフトウェアを記憶したコンピュータ読取可能な記憶媒体。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、逆浸透膜プラントおよびその製造、運転方法ならびにそのための記憶媒体に関する。

## 【0002】

【関連する背景技術】海水の淡水化、超純水の製造、かん水からの脱塩などに逆浸透（RO）法を適用することが知られている。例えば、RO法による海水淡水化プラントでは、ろ過処理された海水を昇圧してRO膜モジュールユニットに供給し、このRO膜モジュールユニットにより海水を濃縮水と淡水の透過水とに分離するようにしている。

【0003】このようなRO膜プラントの安定操業を実現するには、RO膜性能やこれを正確に表す膜輸送パラメータを求めることが望ましい。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、RO膜の膜輸送パラメータを求めることは一般に困難であり、従来は透過流速と脱塩率とからRO膜性能を予測していた。この場合、見かけの膜性能を把握できるに過ぎず、RO膜プラントを最適に操業することは困難である。

【0005】また、RO膜は水の透過を許容する一方で塩の透過を阻止するので、膜面に塩が蓄積して膜面塩濃度 $C_m$ が原水濃度 $C_f$ よりも高くなるという濃度分極現象が生じる（図1参照）。従来は、原水濃度 $C_f$ を濃度および流速のそれぞれの実測値で補正する等して膜輸送パラメータを予測していたが、濃度分極現象は、原水濃度、温度、運転条件などにより大きく変動するため、実際のプラントでは正確な輸送パラメータの把握が困難になる。そして、濃度分極現象が進行するにつれて、造水量や脱塩率が従来の予測以上に低下し、更には、膜面塩濃度が溶解度を超えると膜面にスケールが析出するという不具合を招来する。

【0006】そこで、本発明は、濃度分極現象を考慮して逆浸透膜の輸送パラメータや逆浸透膜プラントの運転状態を正確に予測するパラメータ予測方法及びその装置を提供することを目的とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】逆浸透膜（RO）プラントにおいて、透過物質は溶媒および溶質からなり、溶媒は圧力差によってRO膜を透過し、溶質は濃度差によってRO膜を透過する。図2及び図3ならびに次式に示すように、溶媒透過流速 $J_v$ は、RO膜に固有な溶媒透過係数 $L_p$ と有効圧力差 $\Delta P_e$ との積で表され、また、溶質透過流速 $J_s$ は、RO膜に固有な溶質透過係数 $P$ と膜間濃度差 $(C_m - C_p)$ との積で表される。

$$\begin{aligned} J_v &= L_p \Delta P_e = L_p [\Delta P - \{\pi(C_m) - \pi(C_p)\}] \\ J_s &= P (C_m - C_p) \end{aligned}$$

ここで、 $\pi(C_m)$ 、 $\pi(C_p)$ はそれぞれ原水側膜面および透過側膜面における浸透圧である。RO膜の性能すなわち溶質除去機能は、溶媒透過係数 $L_p$ が大きく溶質透過係数 $P$ が小さいほど良好になる。すなわち、これらの係数 $L_p$ 、 $P$ は膜性能を表すものであり、係数 $L_p$ 、 $P$ を膜輸送パラメータとして把握することは逆浸透膜プラントを操業する上で極めて有用である。

【0009】上記のようにRO膜における溶媒透過の駆動力となる有効圧力差 $\Delta P_e$ は、膜間圧力差 $\Delta P$ から浸透圧差を減じたものに等しい。この浸透圧差 $\pi(C_m) - \pi(C_p)$ は膜面濃度 $C_m$ によって変化し、従って、溶媒透過流速 $J_v$ も膜面濃度 $C_m$ に応じて変化することになる。また、溶質透過流速 $J_s$ を決める濃度差 $(C_m$

— $C_p$ )も膜面濃度 $C_m$ に応じて変化する。このため、RO膜における溶媒透過流束 $J_v$ および溶質透過流束 $J_s$ を把握する上で膜面濃度 $C_m$ の把握が重要になる。

【0010】また、膜面濃度 $C_m$ を把握する上で、濃度分極現象(膜面への溶質の蓄積によって膜面濃度が原水濃度よりも高くなる現象)を考慮することが望ましい。この濃度分極現象は、例えば、透過流束に伴う溶質移動 $J_v \cdot C$ と、膜面に蓄積した溶質の拡散 $D \cdot dC/dx$ と、膜を透過した溶質量 $J_v \cdot C_p$ という3つの物質収支を示す次式によって表すことができる(図1参照)。

【0011】 $J_v \cdot C - D \cdot dC/dx = J_v \cdot C_p$   
ここで、 $D$ は溶質の拡散係数である。物質収支を表す上記の式を積分して、下記の膜面における濃度分極式を得る。

$(C_m - C_p) / (C_f - C_p) = \exp(J_v/k)$   
ここで、 $k = D/\delta$ であり、 $k$ は物質移動係数を表し、 $\delta$ は物質移動が行われる層の厚みを表す。

【0012】請求項1および2のそれぞれに記載の発明による逆浸透膜プラントの製造方法および運転方法は、溶質透過の物質収支を表す濃度分極モデルから導出される濃度分極式に基づいて、逆浸透膜プラントの運転状態を表す運転パラメータの実測値から逆浸透膜の膜性能を表す膜輸送パラメータを予測するか、または、逆浸透膜の膜性能を表す既知の膜輸送パラメータから逆浸透膜プラントの運転パラメータを予測し、この予測値に基づいて逆浸透膜プラントの運転条件を定めることを特徴とする。

【0013】請求項1、2の発明によれば、逆浸透膜プラントの運転パラメータの実測値から濃度分極式に基づいて膜輸送パラメータを予測できる。この膜輸送パラメータの予測において濃度分極現象が考慮されるので、膜性能を正確に把握できる。そして、この様な膜輸送パラメータの予測値に基づいて逆浸透膜プラントの運転条件が定められ、これにより逆浸透膜プラントの製造や運転が最適に実施される。また、請求項1、2の発明によれば、逆浸透膜プラントの運転パラメータが既知の膜輸送パラメータから予測される。この予測値は濃度分極現象を良好に反映したものであり、この予測値に基づいて逆浸透膜プラントの運転条件を定めることにより、逆浸透膜プラントの製造や運転が最適に実施される。

【0014】請求項1または2に記載の発明において、請求項3では、原水の供給圧力、原水流量、濃縮水流量、透過水の回収率、透過水流量および透過水中の溶質濃度からなる群から選ばれる少なくともひとつが運転条件として定められ、請求項4では透過水流量および/または透過水中の溶質濃度が運転パラメータとして用いられ、また、請求項5では溶媒透過係数および/または溶質透過係数が膜輸送パラメータとして用いられる。

【0015】請求項3、4および5の発明によれば、逆浸透膜プラントの製造または運転での主要因子が運転条

件、運転パラメータまたは膜輸送パラメータとして選択され、プラントの製造または運転が最適化される。請求項6に記載の発明に係る逆浸透膜プラントは、請求項1、3、4または5に記載の製造方法により製造されるものであり、その製造に際して濃度分極現象が良好に反映されることから所要のプラント性能を備えた逆浸透膜プラントが最適に製造される。

【0016】請求項7に記載の発明に係る記憶媒体は、請求項1ないし6のいずれかに記載の逆浸透膜プラントまたはその製造方法あるいは運転方法に係る手順をコンピュータに実施させるためのソフトウェアをコンピュータ読取可能に記憶したものであり、コンピュータによる逆浸透膜プラントの製造および運転に便宜である。好ましくは、本発明による逆浸透膜プラントの製造または運転方法では、逆浸透膜プラントの装置データ、運転条件と物質移動係数と逆浸透膜プラントでの透過水流量および透過水濃度の実測値とから、溶媒透過流束式、溶質透過流束式および濃度分極式に従って、膜輸送パラメータとしての溶媒透過係数および溶質透過係数が予測される。また、この製造または運転方法では、逆浸透膜プラントの装置データ、運転条件と物質移動係数と逆浸透膜プラントでの溶媒透過係数および溶質透過係数とから、溶媒透過流束式、溶質透過流束式および濃度分極式に従って、逆浸透膜プラントでの透過水流量および透過水濃度が逆浸透膜プラントの運転パラメータとして予測される。

【0017】上記好適態様による製造または運転方法の実施に際して、例えば下記のシミュレーションユニットが使用される。このシミュレーションユニットは、逆浸透膜プラントの装置データと物質移動係数と逆浸透膜プラントでの透過水流量および透過水濃度の実測値の入力に応じて、溶媒透過流束式、溶質透過流束式および濃度分極式に従って、溶媒透過係数および溶質透過係数を予測する膜輸送パラメータ予測部を有する。また、シミュレーションユニットは、逆浸透膜プラントの装置データと物質移動係数と逆浸透膜プラントでの溶媒透過係数および溶質透過係数の実測値の入力に応じて、溶媒透過流束式、溶質透過流束式および濃度分極式に従って、逆浸透膜プラントでの透過水流量および透過水濃度を予測するプラント運転パラメータ予測部を有する(図6参照)。

【0018】あるいは、本発明のパラメータ予測方法は、逆浸透膜プラントにおける原水濃度 $C_f$ 、透過水濃度 $C_p$ および溶媒透過流束 $J_v$ を実測する工程と、濃度分極式に対して物質移動係数 $k$ を原水濃度 $C_f$ 、透過水濃度 $C_p$ および溶媒透過流束 $J_v$ のそれぞれの実測値と共に代入することにより膜性能を表す膜面濃度 $C_m$ を求める工程とを備えるのが好ましい。

【0019】より好ましくは、逆浸透膜プラントの製造または運転方法は、物質移動相関式に従って原水濃度 $C$

f、透過水濃度 $C_p$ および溶媒透過流束 $J_v$ のそれぞれの実測値から物質移動係数 $k$ を求める工程を含む。好ましくは、逆浸透膜を用いた実験において原水流速 $u$ を変化させることにより、物質移動相関式における未知の係数を求め、この物質移動相関式から求めるシャーウッド数 $Sh$ から物質移動係数 $k$ を求める。

【0020】上記好適態様による製造または運転方法は、物質移動係数の算出値ならびに原水濃度、透過水濃度および溶媒透過流速のそれぞれの実測値と物質移動係数とから濃度分極式に従って膜面濃度を求める膜面濃度算出部を備えた装置により実施できる。より好ましくは、この装置は、原水濃度、温度、粘度、流束、溶質拡散係数、流路厚みから物質移動相関式に従って物質移動係数を求める物質移動係数算出部を含む。

【0021】本発明の別の好適態様による逆浸透膜プラントの製造または運転方法は、溶媒透過流束 $J_v$ を溶媒透過係数 $L_p$ と有効膜間圧力差 $\Delta P_e$ との積で表す溶媒透過式に対して溶媒透過係数の暫定値、膜間濃度 $C_m$ の暫定値、膜間圧力差 $\Delta P$ および透過水濃度 $C_p$ を代入して、逆浸透膜の微小区間 $dL$ における溶媒透過流束 $J_v$ の第1算出値を算出する第1工程と、膜間濃度差、原水濃度、透過水濃度、溶媒透過流束 $J_v$ および物質移動係数 $k$ の関係を表す濃度分極式に対して膜間濃度 $C_m$ の暫定値、物質移動係数 $k$ の算出値、透過水濃度 $C_p$ の実測値を代入して、逆浸透膜の微小区間 $dL$ における溶媒透過流束 $J_v$ の第2算出値を算出する第2工程と、溶媒透過流束 $J_v$ の第1及び第2算出値が実質的に合致するまで膜間濃度 $C_m$ の暫定値を更新しつつ第1及び第2工程を繰り返す第3工程と、第3工程で求めた溶媒透過流束 $J_v$ の算出値に基づいて逆浸透膜全体についての透過水流量を算出し、この透過水流量の算出値が透過水流量の実測値に合致しなければ第1工程に戻る第4工程と、溶質透過流束 $J_s$ を溶質透過係数 $P$ と膜間濃度差 $(C_m - C_p)$ との積で表す溶質透過式に対して溶質透過係数 $P$ の暫定値、膜間濃度 $C_m$ の暫定値および透過水濃度 $C_p$ の実測値を代入して、逆浸透膜の微小区間 $dL$ における溶質透過流束 $J_s$ を算出する第5工程と、透過水濃度 $C_p$ を溶質透過流束 $J_s$ および溶媒透過流束 $J_v$ の関数で表す透過水濃度式に対して第5工程で求めた溶質透過流束 $J_s$ の算出値および第4工程において透過水流量の算出値と実測値とを合致させるような溶媒透過流束 $J_v$ の算出値を代入して逆浸透膜の微小区間 $dL$ における透過水濃度 $C_p$ を求める第6工程と、第6工程で求めた透過水濃度 $C_p$ の算出値に基づいて逆浸透膜全体についての透過水濃度 $C_p$ を算出し、この透過水濃度の算出値が透過水濃度の実測値に合致しなければ第1工程に戻る第7工程とを備え、透過水流量の算出値と実測値とを合致させると共に透過水濃度の算出値と実測値とを合致させるような溶媒透過係数 $L_p$ および溶質透過係数 $P$ を求めることを特徴とする。

【0022】上記好適態様による製造または運転方法は、例えば下記のシミュレーションユニットを備えた装置により実施される。このシミュレーションユニットは、プラントの装置データおよび運転データの設定や係数 $L_p$ 、 $P$ 及び膜間濃度 $C_m$ のそれぞれの暫定値ならびに合致判定に係る上限許容値の設定を行うための設定部と、溶媒透過式に従って純水透過流束の第1算出値 $J_v$ を算出するための第1の溶媒透過流束算出部と、濃度分極式に従って純水透過流束の第2算出値 $J_v'$ を算出するための第2の溶媒透過流束算出部と、第1及び第2算出値 $J_v$ 、 $J_v'$ が合致するか否かを判定する第1判定部と、透過水流量式に従って透過水流量の予測値 $Q_{po}'$ を算出する透過水流量算出部と、透過水流量の算出値 $Q_{po}'$ と実測値 $Q_{po}$ とが合致するか否かを判定する第2判定部と、透過水質式に従って透過水質の予測値 $C_{po}'$ を算出する透過側溶質濃度算出部と、透過水質の算出値 $C_{po}'$ と実測値 $C_{po}$ とが合致するか否かを判定する第3判定部と、合致判定時に第3判定部を介して設定部から送出される係数 $L_p$ 、 $P$ を出力する膜輸送パラメータ出力部とを有する。好ましくは、シミュレーションユニットは、合致判定時に第3判定部を介して設定部から送出される係数 $L_p$ 、 $P$ に温度補正、圧力補正、濃度補正の少なくとも一つを施す補正部を含み、輸送パラメータ出力部は、補正済みの係数を出力する。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、本発明の第1実施形態による逆浸透膜プラントの製造、運転方法における膜輸送パラメータの予測方法を説明する。本実施形態の膜輸送パラメータ予測方法は、物質移動相関式( $Sh = a \cdot Re^b \cdot Sc^c$ )に従って物質移動係数 $k$ を求め、次に、溶質透過の物質収支に基づいて構築した濃度分極モデルから導出される膜面における濃度分極式に対して、この物質移動係数 $k$ を代入することにより、膜性能を表す膜面濃度 $C_m$ を求めるものである。

【0024】物質移動相関式( $Sh = a \cdot Re^b \cdot Sc^c$ )は、膜エレメントの流動特性を示す式であり、シャーウッド数(ヌッセルト数) $Sh$ とレイノルズ数 $Re$ とシュミット数 $Sc$ との関係を表す。以下に示すように、シャーウッド数 $Sh$ は、物質移動係数 $k$ と物質移動が行われる層の流路厚み $d$ との積を溶質拡散係数 $D$ で除した無次元量であり、溶質の移動の容易さを表す。レイノルズ数 $Re$ は、原水の流速 $u$ と密度 $\rho$ と長さ $d$ との積を粘性係数 $\eta$ で除したものであり、原水流速の影響を表す。また、シュミット数 $Sc$ は、粘性係数 $\eta$ を密度 $\rho$ と溶質拡散係数 $D$ との積で除したものであり、原水物性の影響を表す。

【0025】 $Sh = k \cdot d / D$

$Re = \rho \cdot u \cdot d / \eta$

$Sc = \eta / \rho \cdot D$

本実施形態では、物質移動相関式におけるレイノルズ数

Reおよびシュミット数Scのそれぞれのべき指数b、cは、所定の固定値に設定される。例えば、配管などの物質移動相関式として知られているダイスラー式(Deissler式)に従って、べき指数bおよびcは、たとえば0.875および0.25にそれぞれ設定される。

【0026】この場合、物質移動相関式は以下の示すものになる。

$$Sh = a \cdot Re^{0.875} \cdot Sc^{0.25}$$

上式を変形して次式を得る。

$$\log_e (Sh / Sc^{0.25}) = 0.875 \log_e Re + a$$

そして、物質移動相関式における未知の係数aは、逆浸透膜モジュールたとえばスパイラル形RO膜や中空形のエレメントを用いた実験において原水流速uを変化させることにより求めることができる。

【0027】本実施形態の膜輸送パラメータ予測方法が適用される逆浸透膜プラントとしての海水淡水化システムは、例えば、1段目の逆浸透膜エレメントからの濃縮水を昇圧して2段目の逆浸透膜エレメントに供給するように構成可能である。この種の海水淡水化システムの1段目および2段目の逆浸透膜エレメントについて、上記の未知係数aを決定するための実験を行った。1段目エレメントについての実験結果を図4に示す。

【0028】図4において、シャーウッド数Shをシュミット数Scの0.25乗で除した値が縦軸方向に対数プロットされ、また、レイノルズ数Reが横軸方向に対数プロットされており、y切片が未知の係数aを与える。1段目及び2段目の逆浸透膜エレメントにおける係数aはそれぞれ0.080及び0.087と求まる。すなわち、1段目および2段目の逆浸透膜エレメントに対する物質移動相関式は以下のように求まる。

【0029】

$$Sh = 0.080 \cdot Re^{0.875} \cdot Sc^{0.25}$$

$$Sh = 0.087 \cdot Re^{0.875} \cdot Sc^{0.25}$$

そして、上記の物質移動相関式から求まるシャーウッド数Shから物質移動係数kを求めることができる。或いは、物質移動相関式は以下のようにして求めることができる。

【0030】まず、未知の係数aと未知のべき指数bとを含む下記の質量移動相関式を想定する。

$$Sh = a \cdot Re^b \cdot Sc^{0.25}$$

次に、レイノルズ数Reが一定になるような条件下での逆浸透膜プラントの運転中に溶媒透過流束Jvと透過水濃度Cpとを実測し、これらの実測データから物質移動係数kが得られる。上記式中の係数aおよびべき指数bは、レイノルズ数Reを異にする運転条件下でそれぞれ求めた2つの物質移動係数kから求めることができる。そして、物質移動係数kとレイノルズ数Reとの組合せを異にする複数組のデータから、係数aとべき指数bと

の複数個の組合せを得た(図5参照)。すなわち、質量移動相関式における係数aとべき指数bとの関係は次式で表すことができる。

【0031】

$$a = -0.219 \cdot \ln(b) + 0.323$$

上式においてaを0.875に設定して、次式を得る。

$$Sh = 0.080 \cdot Re^{0.875} \cdot Sc^{0.25}$$

上式は、図4に係る実験によって求めた物質移動相関式に良く合致する。本実施形態による膜輸送パラメータの予測は、膜面における濃度分極式に基づいて構築されたシミュレーションユニットにより実施される。

【0032】既に説明したように、この濃度分極式は、溶質透過の物質収支を表す濃度分極モデルから導出されるものであり、以下に再掲した式で示すように、原水側膜面濃度Cm、透過水濃度Cp、原水濃度Cp、溶媒透過流束Jvおよび物質移動係数kの関係を表す(図1参照)。

$$(C_m - C_p) / (C_f - C_p) = \exp(J_v / k)$$

膜輸送パラメータの予測に際して、逆浸透膜プラントたとえば上記の海水淡水化システムにおける透過水出口濃度Cpo、原水入口濃度Cf、および透過水流量Qpoが実測され、これらの実測値が上記のようにして算出される物質移動係数kの算出値と共にシミュレーションユニットに入力される。

【0033】シミュレーションユニットは、上記の濃度分極式に従いCp、Cf、Jvおよび算出値kに基づいて膜面濃度Cmを算出する。膜面濃度Cmは、逆浸透膜の膜性能を表す輸送パラメータの一つであり、上記の算出値は膜面濃度Cmの予測値を与え、逆浸透膜プラントの操業に有用である。以下、本発明の第2実施形態によるパラメータ予測方法を説明する。

【0034】本実施形態のパラメータ予測方法は、逆浸透膜プラントとしての海水淡水化システムにおける運転パラメータの実測値から溶媒透過係数(純水透過係数)Lpおよび溶質透過係数(塩透過係数)Pの予測値を求める膜性能解析を実施し、また、係数LpおよびPが既知である場合には、既知の係数LpおよびPから、既設の、または設計中の海水淡水化システムの性能を予測するプラント性能シミュレーションを実施するものである。本予測方法を実施するためのシミュレーションユニットの膜性能解析機能およびプラント性能シミュレーション機能を図6に一括して示す。

【0035】海水淡水化システムにおける逆浸透膜(RO膜)での物質透過は、水および塩の透過からなり、水の透過は圧力差ΔPによる一方、塩の透過は濃度差(Cm - Cp)によるものであり(図2及び図3参照)、反射係数をσで表すと共に平均濃度をCsで表すと、容量流束Jvおよび塩流束Jsは次式によって与えられる。

【0036】

$$J_v = L_p [\Delta P - \sigma \cdot \{\pi (C_m - C_p)\}] \quad [1]$$

$$J_s = P(C_m - C_p) + (1 - \sigma) C_s \cdot J_v \quad [2]$$

また、Spiegler-Kedemの解析から式[2]は次のように おきかえられる。

$$R \equiv (C_m - C_p) / C_m = \sigma(1 - F) / (1 - \sigma F) \quad [3]$$

ここでFは

$$F = \exp[-J_v(1 - \sigma) / P] \quad [4]$$

である。

【0037】ここでは、脱塩率の高い膜を海水淡水化に用いることを想定しているので、反射率 $\sigma$ は1に極めて

$$J_v = L_p [\Delta P - \{\pi(C_m) - \pi(C_p)\}] \quad [5]$$

$$J_s = P(C_m - C_p) \quad [6]$$

また、透過水濃度 $C_p$ は次式で与えられる。

【0038】

$$C_p = J_s / J_v \quad [7]$$

そして、膜表面における塩濃度 $C_m$ は、物質移動係数を $k$ で表すと、濃度分極モデルに基づく次式により与えら

れる。

$$(C_m - C_p) / (C_f - C_p) = \exp[J_v / k] \quad [8]$$

海水淡水化システムについての上記の検討に基づき、膜性能解析およびプラント性能シミュレーションを実施するシミュレーションユニットは、溶媒透過流束 $J_v$ を溶媒透過係数 $L_p$ と有効膜間圧力差 $\Delta P_e$ との積で表す溶媒透過式( $J_v = L_p \Delta P_e = L_p [\Delta P - \pi(C_m) - \pi(C_p)]$ )と、溶質透過流束 $J_s$ を溶質透過係数 $P$ と膜間濃度差( $C_m - C_p$ )との積で表す溶質透過式( $J_s = P(C_m - C_p)$ )と、膜間濃度差、原水濃度と透過水濃度、溶媒透過流束 $J_v$ および物質移動係数 $k$ の関係を表す濃度分極式( $(C_m - C_p) / (C_f - C_p) = \exp(J_v / k)$ )とに基づいて構築されてい

る。

【0039】本実施形態による膜性能解析では、逆浸透膜要素をその長さ方向に $N$ 個に分割し、各膜要素区間 $i$ における透過水流量 $\Delta Q_{pi}$ および濃度 $C_{pi}$ を算出し、更に、これらの算出値を膜要素全体について加算することにより膜全体における透過水流量(造水量) $Q_{po}$ および透過水濃度(透過水質) $C_{po}$ を求めるようにしている。

【0040】各区間 $i$ の長さを $\Delta L (= L / N)$ で表すと、各区間 $i$ における物質平衡式は以下のように与えられる。

$$\Delta Q_{pi} = J_{vi} \cdot \Delta L \cdot W_i \quad [9]$$

$$C_{pi} = J_{si} / J_{vi} \quad [10]$$

また、膜全体についての透過水流量(造水量) $Q_{po}$ および透過水濃度(透過水質) $C_{po}$ は次式で表される。

【0041】

$$Q_{po} = \sum \Delta Q_{pi} = \sum J_{vi} \cdot \Delta L \cdot W_i \quad [11]$$

$$C_{po} = \sum C_{pi} \cdot \Delta Q_{pi} / Q_{po} \quad [12]$$

膜性能解析に関して、シミュレーションユニットは、図7に例示する制御フローに従って膜輸送パラメータとしての溶媒透過係数(純水透過係数) $L_p$ および溶質透過係数(塩透過係数) $P$ の予測値を求めるようになっている。

【0042】図7の制御フローにおいて、プラントデータならびに運転データが設定される(ステップS1)。プラントデータは、例えば、海水淡水化システムの逆浸透膜モジュールが有するエレメント数、エレメント長さなどを含む。また、運転データは、以下の説明から明らかのように、逆浸透膜モジュールに対する海水の供給圧力 $\Delta P$ 、原水濃度 $C_f$ 、透過水濃度(透過水質) $C_{po}$ 、透過水流量(造水量) $Q_{po}$ などを含む。

【0043】次に、純水透過係数 $L_p$ および塩透過係数 $P$ のそれぞれの暫定値を設定し(ステップS2)、物質移動係数 $k$ や純水透過流束 $J_v$ の算出に要する各種パラメータたとえば密度 $\rho$ 、粘性 $\eta$ 、拡散率 $D$ などを設定する(ステップS3)。物質移動係数 $k$ は、上記の第1実

施形態で説明したように物質移動相関式から求めたものを使用できるが、以下のようにして予め求めたものを用いても良い。すなわち、純水流速を用いて溶媒透過係数 $L_p$ を実測し、次に溶媒透過流束 $J_v$ を実測し、これらの実測値に基づいて上記の容量流速式( $J_v = L_p [\Delta P - \{\pi(C_m - \pi C_p)\}]$ )から膜面濃度 $C_m$ を算出する。そして、この膜面濃度 $C_m$ の算出値に基づき上記の濃度分極式( $(C_m - C_p) / (C_f - C_p) = \exp[J_v / k]$ )から物質移動係数 $k$ を求める。

【0044】図7の制御フローを再び参照すると、ステップS3でのパラメータ設定に続き、膜間濃度 $C_m$ の暫定値が設定される(ステップS4)。そして、溶媒透過式( $J_v = L_p \Delta P_e = L_p [\Delta P - \pi(C_m - C_p)]$ )に従って純水透過流束の第1算出値 $J_v$ が算出され、また、濃度分極式( $(C_m - C_p) / (C_f - C_p) = \exp(J_v / k)$ )に従って純水透過流束の第2算出値 $J_v'$ が算出される(ステップS5)。

【0045】詳しくは、第1算出値 $J_v$ の算出では、溶

媒透過式に対して純水透過係数 $L_p$ の暫定値、膜間濃度 $C_m$ の暫定値、膜間圧力差 $\Delta P$ のそれぞれの実測値および透過水濃度 $C_p$ の実測値を代入することにより純水透過流束 $J_v$ が求められる。また、第2算出値 $J_v'$ の算出では、濃度分極式に対して膜間濃度 $C_m$ の暫定値、物質移動係数 $k$ の算出値、透過水濃度 $C_p$ の実測値を代入することにより純水透過流束 $J_v'$ が求められる。

【0046】次に、純水透過流束の第2算出値 $J_v'$ から第1算出値 $J_v$ を減算して得た値の絶対値 $|J_v' - J_v|$ を第1算出値 $J_v$ で除した値が上限許容値（例えば10-5）よりも小さいか否かを判別することにより、第1及び第2算出値が互いに合致するか否かを判別する（ステップS6）。この判別結果が否定（No）すなわち両算出値が不一致であれば、ステップS4に戻って膜間濃度 $C_m$ の暫定値を更新した後で、純水透過流束の第1及び第2算出値をステップS5で再び算出する。

【0047】ステップS4ないしS6の手順が繰り返されて両算出値が互いに合致すると、このときの第1算出値 $J_v$ が記憶され、次いで、透過水流量式（ $Q_{po} = \sum \Delta Q_{pi} = \sum J_v \cdot \Delta L \cdot W_i$ （[11]式））に従って、透過水流量の予測値 $Q_{po}'$ が算出される（ステップS7）。そして、この算出値 $Q_{po}'$ から透過水流量の実測値 $Q_{po}$ を減算して得た値の絶対値 $|Q_{po}' - Q_{po}|$ を実測値 $Q_{po}$ で除した値が上限許容値（例えば10-5）よりも小さいか否かを判別することにより、算出値と実測値とが合致するか否かを判別する（ステップS8）。算出値と実測値とが不一致であれば、ステップS2に戻って純水透過係数 $L_p$ および塩透過係数 $P$ の暫定値を更新した後で、ステップS3以降の処理を再度実行する。

【0048】そして、透過水流量の算出値 $Q_{po}'$ と実測値 $Q_{po}$ とが合致すると、透過水質式（ $C_{po} = \sum C_{pi} \cdot \Delta Q_{pi} / Q_{po}$ （[12]式））に従って、膜全体にわたる透過水質の予測値 $C_{po}'$ が算出される（ステップS9）。この算出は、塩流速式（ $J_s = P \cdot (C_m - C_p)$ （[6]式））および透過水濃度式（ $C_p = J_s / J_v$ （[6]式））に従って行われる。

【0049】次に、透過水質の算出値 $C_{po}'$ から透過水質の実測値 $C_{po}$ を減算して得た値の絶対値 $|C_{po}' - C_{po}|$ を実測値 $C_{po}$ で除した値が上限許容値（例えば10-5）よりも小さいか否かを判別することにより、算出値と実測値とが合致するか否かを判別する（ステップS10）。算出値と実測値とが不一致であれば、ステップS2に戻って純水透過係数 $L_p$ および塩透過係数 $P$ の暫定値を更新した後で、ステップS3以降の処理を再度実行する。

【0050】ステップS10において透過水質の予測値 $C_{po}'$ と実測値 $C_{po}$ とが合致すると判定されると、この様な判定結果をもたらす純水透過係数（溶媒透過係数） $L_p$ および塩透過係数（溶質透過係数） $P$ は、透過水流量 $Q_{po}$ の算出値と実測値とを合致させると共に透過水質

（透過水濃度） $C_{po}$ の算出値と実測値とを合致させるようなものとなる。そして、この様にして求めた純水透過係数 $L_p$ 及び塩透過係数 $P$ のそれぞれに温度補正や圧力補正、濃度補正を施し（ステップS11）、両係数 $L_p$ 、 $P$ の予測処理を終了する。

【0051】上記の膜輸送パラメータ予測処理を行うシミュレーションユニット10は、図8に示す各種機能部を有している。すなわち、シミュレーションユニットは、プラントデータおよび運転データの設定や係数 $L_p$ 、 $P$ 及び膜間濃度 $C_m$ のそれぞれの暫定値ならびに合致判定に係る上限許容値の設定を行うための設定部11と、溶媒透過式に従って純水透過流束の第1算出値 $J_v$ を算出するための第1の溶媒透過流束算出部12と、濃度分極式に従って純水透過流束の第2算出値 $J_v'$ を算出するための第2の溶媒透過流束算出部13と、第1及び第2算出値 $J_v$ 、 $J_v'$ が合致するか否かを判定する第1判定部14と、透過水流量式に従って透過水流量の予測値 $Q_{po}'$ を算出する透過水流量算出部15と、透過水流量の算出値 $Q_{po}'$ と実測値 $Q_{po}$ とが合致するか否かを判定する第2判定部16と、透過水質式に従って透過水質の予測値 $C_{po}'$ を算出する透過側溶質濃度算出部17と、透過水質の算出値 $C_{po}'$ と実測値 $C_{po}$ とが合致するか否かを判定する第3判定部18と、合致判定時に第3判定部18を介して設定部11から読み出される係数 $L_p$ 、 $P$ に温度補正や圧力補正、濃度補正を施す補正部19と、補正済みの係数 $L_p$ 、 $P$ を出力する膜輸送パラメータ出力部20とを有している。シミュレーションユニットは、例えば、RO膜プラントとの間で情報を授受するための入出力回路や演算処理などのためのマイクロプロセッサや記憶装置などを含むコントローラから構成され、設定部11と出力部20は、キーボードや液晶パネルなどから構成可能である。

【0052】上述のように、物質移動係数 $k$ が既知であるか或いは算出可能であれば、上記の膜性能解析を実施することにより、すなわち、溶媒透過係数（純水透過係数） $L_p$ 及び溶質透過係数（塩透過係数） $P$ の暫定値を更新しつつ、透過水流量（造水量） $Q_p$ 及び透過水濃度（透過水質） $C_p$ の算出を、算出値が実測値（運転中のROユニットから得た流速及び脱塩データ）に合致するまで繰り返すことにより、膜性能を表す膜輸送パラメータとしての係数 $L_p$ 、 $P$ を求めることができる。

【0053】一方、係数 $L_p$ 及び $P$ が既知である場合には、シミュレーションユニットは、プラント性能シミュレーションを実施可能である。すなわち、既知の係数 $L_p$ および $P$ の入力に応じて、シミュレーションユニットは、装置、エレメント、運転条件から、膜の温度補正および圧力補正を施した上で、透過基礎式と濃度分極式とから微小区間 $dL$ における水と塩の透過流束を求め、更に、エレメント長さ方向に積分してプラント全体の造水量と透過水質を求める。この様にして、逆浸透膜ブラン

トたとえば海水淡水化システムの性能を予測することができる。

【0054】なお、上記のアラント性能シミュレーションを実施するための制御フローの説明は省略するが、物質移動係数 $k$ に代えて溶媒透過係数 $L_p$ が既知であれば、図7に示した手順に類似の手順により物質移動係数 $k$ および溶質透過係数 $P$ を算出可能である。なお、本発明に適用される逆浸透膜については、特に限定されるものではないが、海水から淡水を得る場合、さらに、回収率が高く原水が高度に濃縮される場合に本発明を適用することにより、濃度分極の影響を正確に把握することができるので好ましい。

【0055】また、膜エレメントについても限定されるものではないが、流路構造が明確で均一な流路形状を維持できる平膜形、特に、スパイラル形状のエレメントに本発明を適用することにより非常に正確なパラメータ予測が可能となる。以下、本実施形態によるパラメータ予測方法の妥当性を確認するために実施した検証実験について説明する。

【0056】図9は、この検証実験に用いた実験設備の概要を示す。本実験アラントは、2段のRO膜エレメントを有している。本アラントは、凝集砂濾過装置およびポリッシング濾過装置において前処理した海水を保安フィルタを介して1段目のポンプに供給し、このポンプにおいて昇圧した海水を1段目エレメントにおいて濃縮水と透過水とに分離し、この濃縮水を2段目の無動力昇圧機にて更に昇圧したものを2段目エレメントにおいて分離するものである。両エレメントの逆浸透膜は略同一であり、架橋芳香族ポリアミドからなる機能膜素材と、ポリスルホンからなる支持膜素材と、ポリエステルタフタやポリエステル不織布からなる基材とで構成した。

【0057】図10は、上記で用いたスパイラル形エレメントの一部切欠斜視図であり、図11は図10のX I-X I線に沿う断面図である。エレメントは、その中心部に配された中空管1を備え、中空管1の表面には複数の透孔1aが形成されている。そして、複数の逆浸透膜2が、これらの逆浸透膜2の間に配された供給液流路材4と共に中空管1の回りに渦巻き状に巻回され、スパイラル構造を構成している。このスパイラル構造体の両端には、通液構造の枠体5が装着されている。

【0058】逆浸透膜2は袋状に形成され、中空管1側に開口2aを有している。逆浸透膜2の中空管側は、その開口2aが中空管1の透孔1aを包囲するように中空管1の外周面に配され、従って、中空管1の透孔1aは、逆浸透膜2の内部に配された透過液流路材3に連通している。上記構成のエレメントは圧力容器の中に収容され、エレメントの上流側の一端から所定圧力の供給液6が供給されるようになっている。供給液6は、供給液流路材4を流れていき、その過程で逆浸透膜2による透過液と溶質との逆浸透分離が進み、逆浸透膜2を透過し

て溶質濃度が低下した透過液は透孔1aを通過して中空管1の中に集液されることになる。この透過液6aはエレメントの下流から取り出される。一方、逆浸透分離しない供給液は、そのまま供給液流路材4を下流側に流れていき、その過程で分離して膜面に存在している溶質を収込むことにより溶質濃度の高い濃縮液6bになる。

【0059】1段目のエレメントは、原水濃度が3.5wt%、濃縮水濃度が5.8wt%及び原水圧力が5.5~7.0MPaという条件で運転され、一方、2段目のエレメントでの原水濃度、濃縮水濃度および原水圧力は5.8wt%、8.8wt%および8.5~10.0MPaとした。この様に、2段目のエレメントでは1段目のエレメントに比べて原水濃度および原水圧力が高いため、その基材および透過水流路材には耐圧性の高いものを用いた。

【0060】検証実験の手順は以下のとおりである。まず、1段目および2段目のエレメントの運転条件（原水圧力および原水流量）を変更しながら、アラント性能（造水量、透過水濃度）を測定した。次に、膜エレメントをアラントから取り出し、その単体性能を測定後、解析プログラム（図7の制御フローに対応）を用いて膜の溶媒透過係数 $L_p$ 及び溶質透過係数 $P$ を算出した。そして、これらの算出値 $L_p$ 、 $P$ に基づき、シミュレーションプログラムにより、上記のアラント性能測定におけるアラント運転条件と同一の運転条件下でのアラント性能を算出した。

【0061】1段目および2段目のエレメントのそれぞれに関してアラント性能の実測値と算出値との合致度合を図12ないし図15に示す。図中、●マークおよび○マークは、夏期（25℃）および冬期（10℃）のそれぞれにおける本発明での合致度合を表し、また、▲マークおよび△マークは、夏期および冬期のそれぞれにおける従来法での合致度合を表す。

【0062】図12及び図13を参照すると、1段目のエレメントの造水量および透過水濃度に関し、従来法に比べて本発明方法は、夏期および冬期の双方において予測精度が高いことが分かる。図14及び図15を参照すると、2段目のエレメントについても本発明方法の予測精度が高いことが実証された。以下、図9に示した実験アラントの長期間運転中に得たデータの解析結果を説明する。

【0063】実験アラントを回収率40%の条件で約1年間にわたって操業した。先に説明したコンピュータプログラムを用いて、データを解析して膜輸送パラメータ $L_p$ 及び $P$ を得た。この解析に供された運転データ（総透過水流量、印加圧力、透過水濃度および透過水温度）の時間変化を図16ないし図19に示す。上述した透過係数 $L_p$ および $P$ の計算において、透過水濃度が変化した。この様な温度変化の影響を除去するべく、拡散係数、水の粘性および膜透過性の温度効果を25℃での

ものに補正することを試みた。データ解析により算出した溶媒透過係数 $L_p$ および溶質透過係数 $P$ を $25^{\circ}\text{C}$ での値に正規化した結果を図20及び図21に示す。

【0064】下式に示すように、溶媒透過係数 $L_p$ は、 $25^{\circ}\text{C}$ での値 $L_{p25}$ と $25^{\circ}\text{C}$ での粘性係数 $\eta_{25}$ と透過性補正係数 $\alpha$ との積を粘性係数 $\eta$ で除したものに等しい。また、溶質透過係数 $P$ は、 $25^{\circ}\text{C}$ での値 $P_{25}$ と $25^{\circ}\text{C}$ での粘性係数 $\eta_{25}$ と絶対温度 $(273.15+T)$ と透過性補正係数 $\beta$ との積を粘性係数 $\eta$ と絶対零度との積で除したものに等しい。

$$\begin{aligned} \text{【0065】 } L_p &= L_{p25} \cdot \eta_{25} \cdot \alpha / \eta \\ P &= P_{25} \cdot \eta_{25} \cdot (273.15 + T) \cdot \beta / \eta \cdot 273.15 \end{aligned}$$

ここで、透過性補正係数 $\alpha$ および $\beta$ は、膜片を用いて得た研究室での実験データから予測可能であり、例えば、実験プラントで用いたRO膜については、次式で表される。

$$\begin{aligned} \text{【0066】 } \alpha &= \exp [0.0114 (T - 25)] \\ \beta &= \exp [0.0299 (T - 25)] \end{aligned}$$

図20及び図21において、時間経過につれて溶媒透過係数 $L_p$ が減少する一方、溶質透過係数 $P$ が増大することが分かる。これらの結果は、膜の性質が変化することを示し、膜の機能層の酸化すなわち膜の劣化や膜の汚れが生じた可能性を示す。

【0067】この様に、本予測方法によれば、実験プラントデータから膜輸送パラメータを求めることができ、また、種々の運転条件下での時間経過に伴う膜輸送パラメータの変化を追跡可能である。そして、適切な移動相関式を得ることができた。また、温度補正を適用することが明らかになり、研究室でのテスト片実験から関係を見出した。その結果、温度相関を考慮しつつ、水透過性および塩透過性の双方の時間的変化を導出できた。

【0068】次に、膜の $L_p$ 、 $P$ に基づくプラント性能予測計算例について説明する。図22および図23は、1段法によるRO膜プラントの設計例での所要エレメント数、透過水塩濃度およびホウ素濃度を本予測方法を利用して算出した結果を示す。この設計例では $10,000\text{ m}^3/\text{day}$ 規模でかつエレメント直列数が6のプラントを想定し、供給圧力を $6.4\text{ MPa}$ とし、原水塩濃度を $35,000\text{ ppm}$ とした。

【0069】図22は、原水回収率 $40\%$ および $50\%$ のそれぞれにおける海水温度と所要エレメント本数との関係を示し、図23は、海水温度と透過水塩濃度との関係を示す。図22および図23中、 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ の使用温度領域外を斜線で示す。図22および図23から分かるように、1段法によるプラントにおいて原水回収率 $40\%$ から $50\%$ へ上げると、所要エレメント本数が増大すると共に透過水の濃度が上昇することが明らかになった。

【0070】図24および図25は、2段法によるプラントの設計例についての計算結果を示す。この設計例に係るプラントの規模、エレメント直列数および原水塩濃度は1段法プラントの場合と同様であるが、1段目および2段目エレメントに対する供給圧力を $6.4\text{ MPa}$ および $8.8\text{ MPa}$ とした。図24および図25は、原水回収率 $60\%$ での1段目エレメントおよび2段目エレメント(TOTAL)における海水温度と所要エレメント数、透過水塩濃度との関係を示す。このグラフから、2段法プラントは原水回収率 $50\%$ とした1段法よりも水質が高いことが分かる。

【0071】図26は、造水量が $50,000\text{ m}^3/\text{day}$ でかつ原水回収率が $60\%$ である2段法プラントについて海水温度 $10^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$ 及び $30^{\circ}\text{C}$ のそれぞれにおける濃度分極(膜面濃度/原水濃度)とスケール析出限界回収率との関係を示す。図25から分かるように、濃度分極を $1.1$ 以下に抑制すれば、プラントを原水回収率 $60\%$ で運転した場合にもスケール析出は生じないと考えられるが、先に設計計算を行ったプラントでは、 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ の濃度分極が最大 $1.07$ であり、スケール析出限界以下であることが計算された。

【0072】上記第1及び第2実施形態では、本発明を海水淡水化プラントにおける純水透過係数 $L_p$ や塩透過係数 $P$ などの予測に適用した場合について主に説明したが、本発明は、逆浸透膜プラントにおける種々の膜輸送パラメータやプラント運転状態の予測に適用可能であり、既設プラントの運転管理やプラント設計に適用可能である。

【0073】

【発明の効果】本発明による逆浸透膜プラントの製造方法および運転方法は、溶質透過の物質収支を表す濃度分極モデルから導出される濃度分極式に基づいて、逆浸透膜プラントの運転状態を表す運転パラメータの実測値から逆浸透膜の膜性能を表す膜輸送パラメータを予測するか、または、逆浸透膜の膜性能を表す既知の膜輸送パラメータから逆浸透膜プラントの運転パラメータを予測するので、濃度分極現象を考慮して逆浸透膜の輸送パラメータや逆浸透膜プラントの運転パラメータを正確に予測でき、既設プラントや設計中のプラントにおける逆浸透膜の膜性能やプラント運転状態を正確に把握できる。また、本発明では、この様な膜輸送パラメータやプラント運転パラメータの予測値に基づいて逆浸透膜プラントの運転条件を定めるので、逆浸透膜プラントの製造や運転を最適に実施できる。特に、本発明は、濃度分極の影響が大きな海水淡水化、なかでも高濃度の運転を行う2段法などの高回収率条件のときに効果的である。すなわち、本発明が適用される既設プラントでは、プラント運転中に膜性能の劣化や膜の汚れなどによる性能低下が生じたとき又は膜面濃度の増大やこれに伴ってスケール析出限界回収率に達したとき或いはそのおそれがあるとき

に薬液洗浄や原水回収率低減などの対策を講じることができる。なお、本発明において用いたスパイラル型逆浸透膜エレメントにおいては、流路形状が均一であり、本発明によって非常に正確なパラメータ予測が可能である。また、本発明が適用されるプラント設計では、造水量や透過水質などの種々のプラント性能要件を満たすための、エレメント数などの装置構成を好適に決定できる。この様に、本発明の運転方法や製造方法は、既設プラントの運転管理やプラント設計に有用である。

【0074】また、本発明の製造方法により製造される本発明の逆浸透膜プラントは、その製造に際して濃度分極現象が良好に反映されることから所要のプラント性能を備えたものになる。また、本発明に係る記憶媒体は、本発明の逆浸透膜プラントまたはその製造方法あるいは運転方法に係る手順をコンピュータに実施させるためのソフトウェアをコンピュータ読取可能に記憶したものであり、コンピュータによる逆浸透膜プラントの製造および運転に便宜である。

【図面の簡単な説明】

【図1】濃度分極現象を示す図である。

【図2】溶媒透過流束  $J_v$  に関して、膜間圧力差  $\Delta P$ 、有効圧力差  $\Delta P_e$  および浸透圧差  $\pi(C_m) - \pi(C_p)$  を示す図である。

【図3】溶質透過流束  $J_s$  に関して、膜間濃度差  $(C_m - C_p)$  を示す図である。

【図4】本発明の第1実施形態による逆浸透膜プラントの製造、運転方法が適用される海水淡水化システムの1段階目エレメントに係る物質移動相関式における未知係数  $a$  を求めるための実験結果を表すグラフである。

【図5】物質移動相関式を求めるための別の実験結果を表すグラフである。

【図6】本発明の第2実施形態による逆浸透膜プラントの製造、運転方法を実施するために用いられるシミュレーションユニットの膜性能解析機能およびプラント設計・シミュレーション機能を示す図である。

【図7】図6に係るシミュレーションユニットにより実行される膜性能解析プログラムを示すフローチャートである。

【図8】図6に係るシミュレーションユニットの各種機能部を示す概略ブロック図である。

【図9】本発明の第2実施形態による逆浸透膜プラントの製造、運転方法を評価するための検証実験に用いた実験プラントの概略図である。

【図10】図9の実験プラントのエレメントの一部切欠斜視図である。

【図11】図10のX I-X I線に沿う断面図である。

【図12】図9に示した実験プラントの1段階目エレメントの造水量の実測値と算出値との合致度合を従来の解析法による合致度合と比較して示すグラフである。

【図13】1段階目エレメントの透過水濃度の実測値と算

出値との合致度合を従来法による合致度合と比較して示すグラフである。

【図14】2段階目エレメントの造水量の実測値と算出値との合致度合を従来の解析法による合致度合と比較して示すグラフである。

【図15】2段階目エレメントの透過水濃度の実測値と算出値との合致度合を従来法による合致度合と比較して示すグラフである。

【図16】図9に示した実験プラントの長期間運転における透過水流量の時間変化を示すグラフである。

【図17】長期間運転における印加圧力の時間変化を示すグラフである。

【図18】長期間運転における透過水濃度の時間変化を示すグラフである。

【図19】長期間運転における透過水温度の時間変化を示すグラフである。

【図20】長期間運転データの解析によって求めた溶媒透過係数  $L_p$  の時間変化を示すグラフである。

【図21】長期間運転データの解析によって求めた溶質透過係数  $P$  の時間変化を示すグラフである。

【図22】1段階法プラントに関して原水回収率40%および50%における海水温度と所要エレメント数との関係の予測結果を示すグラフである。

【図23】同プラントにおける海水温度と透過水塩濃度との関係の予測結果を示すグラフである。

【図24】2段階法プラントの1段階目および2段階目エレメントにおける海水温度と所要エレメントとの関係についての予測結果を示すグラフである。

【図25】2段階法プラントにおける海水温度と原水塩濃度との関係についての予測結果を示すグラフである。

【図26】別の2段階法プラントにおける濃度分極とスケール析出限界回収率との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

10 シミュレーションユニット

11 設定部

12、13 溶媒透過流束算出部

14、16、18 判定部

15 透過水流量算出部

17 透過側溶質濃度算出部

19 温度補正部

20 輸送パラメータ出力部

Cf 原水濃度

Cm 膜面濃度

Cp 透過水濃度(透過水質)

D 溶質拡散係数

$J_v$  溶媒透過流束

$J_s$  溶質透過流束

k 物質移動係数

$L_p$  溶媒透過係数

$\Delta P$  圧力差

$\Delta P_e$  有効圧力差

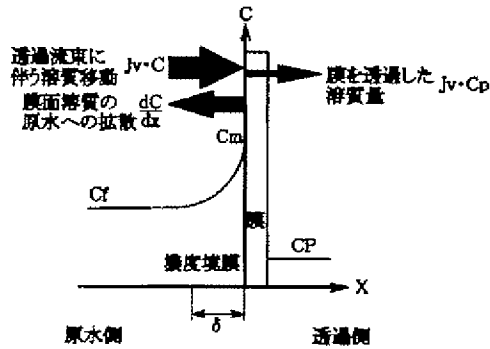
Q 透過水流量

Sh シャーウッド係数

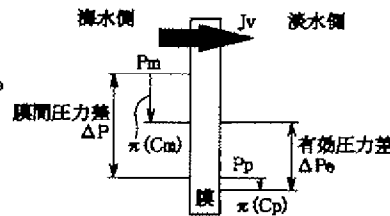
u 原水流速

 $\pi$  浸透圧

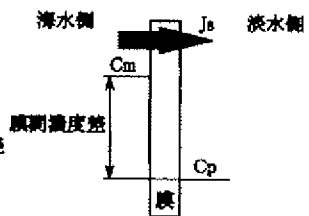
【図1】



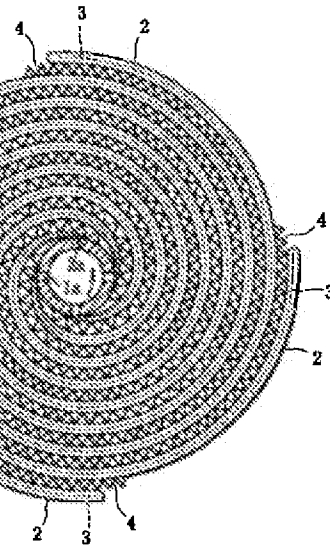
【図2】



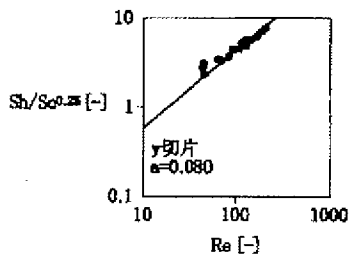
【図3】



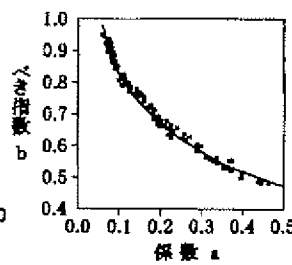
【図11】



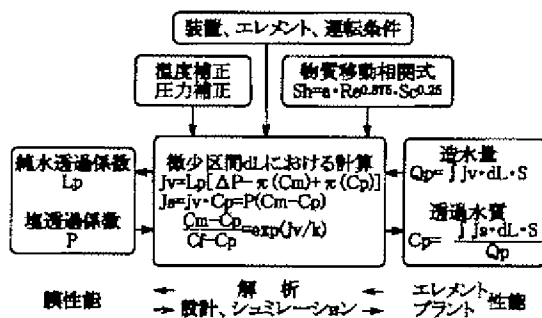
【図4】



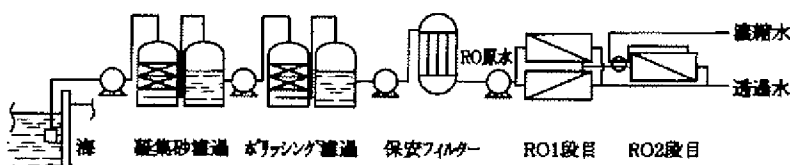
【図5】



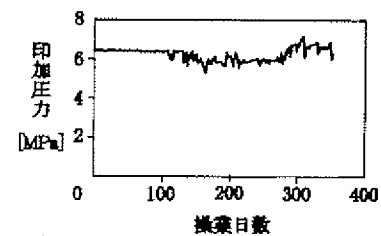
【図6】



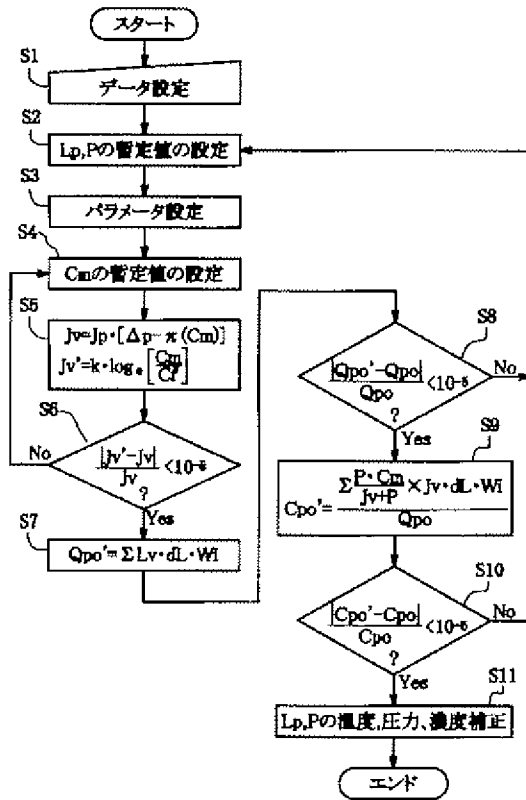
【図9】



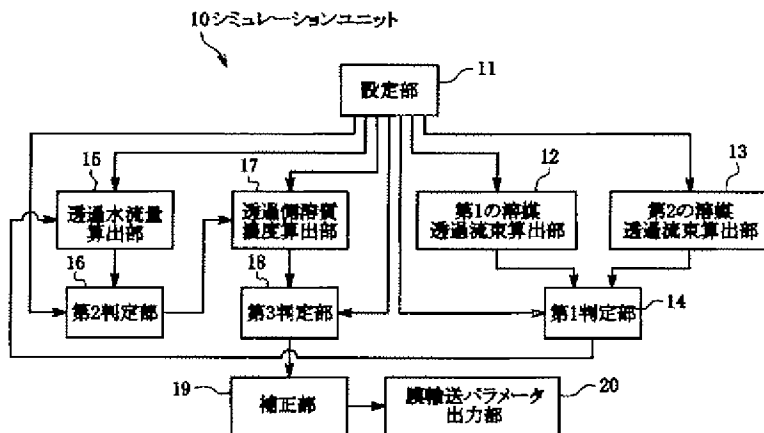
【図17】



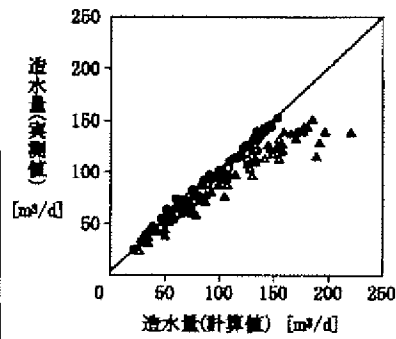
【図7】



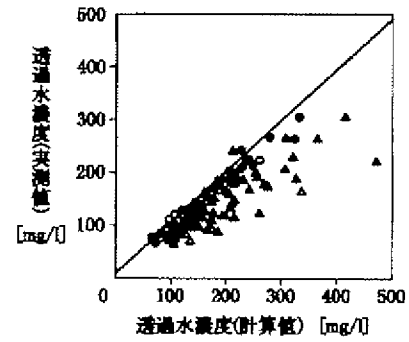
【図8】



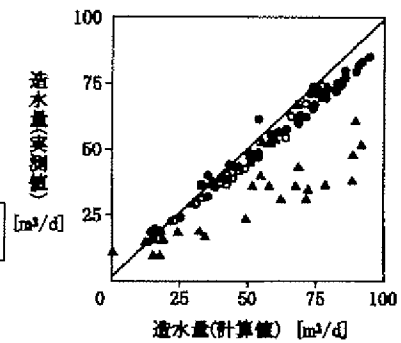
【図12】



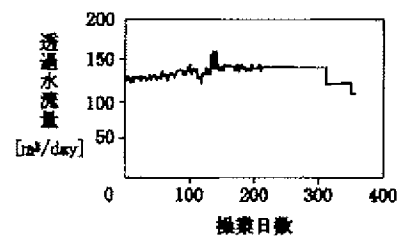
【図13】



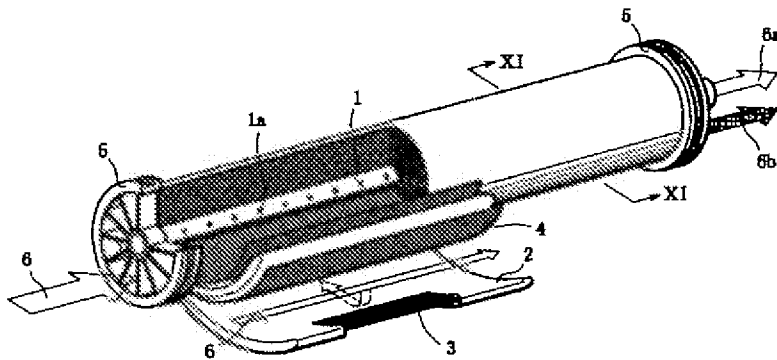
【図14】



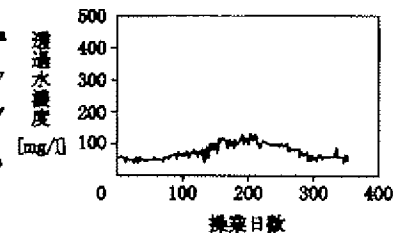
【図16】



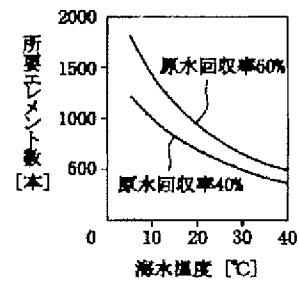
【図10】



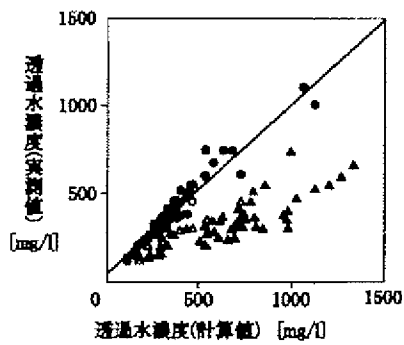
【図18】



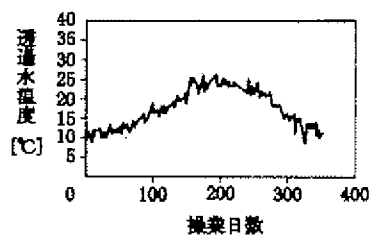
【図22】



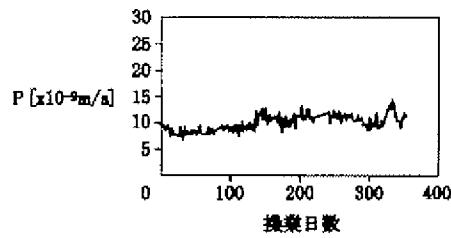
【図15】



【図19】

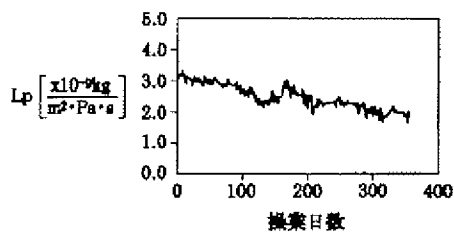


【図21】

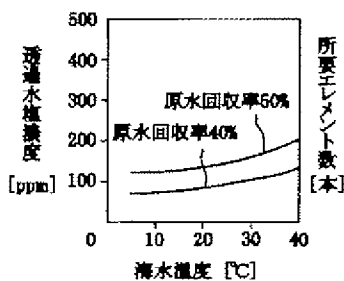


【図25】

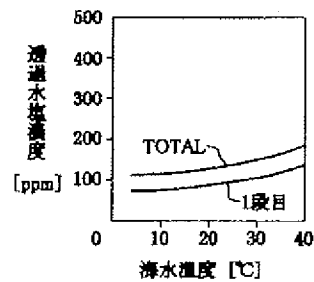
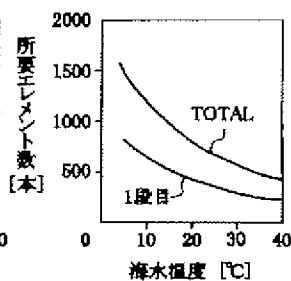
【図20】



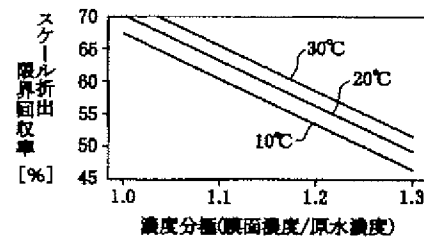
【図23】



【図24】



【図26】



フロントページの続き

(72)発明者 木原 正浩  
滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株  
式会社滋賀事業場内

Fターム(参考) 4D006 GA03 HA61 JA51A JB20  
KA14 KA52 KA53 KA54 KA56  
KA61 KA63 KA67 KA90 KE02P  
KE03P KE04P KE07P KE12P  
KE13P KE14P KE16P KE30P  
KE30Q MA03 MA06 MC48X  
MC56X MC62X PA01 PB03